

Методики оценки компактности планировочных структур¹

В статье рассматриваются методики определения степени компактности планировочных структур различных авторов. Показаны недостатки методик, предлагающих замену реальной формы плана на условную, не позволяющую дать точную оценку компактности. Приведены методики оценки компактности, применяемые в землепользовании. Даны две авторские методики на основе показателя деформации плана и по методу сравнения с компактной формой, соответствующей по размеру площади реального города.

Ключевые слова: компактность формы плана, методика определения компактности, сравнительные оценки, количественные оценки, коэффициент компактности.

Mazaev G. V.

Methods for evaluating compactness of planning structures

The article discusses methods for determining the degree of compactness of planning structures of various authors. The disadvantages of the methods offering to replace the real form of the plan with a conditional one, which does not allow an accurate assessment of compactness, are shown. The methods of assessing compactness used in land use are given. Two author's methods are given based on the deformation index of the plan and by the method of comparison with a compact form corresponding to the size of the area of a real city.

Keywords: compactness of the plan form, method of determining compactness, comparative estimates, quantitative estimates, compactness coefficient.



**Мазаев
Григорий
Васильевич**

кандидат архитектуры,
профессор, академик
РААСН, главный научный
сотрудник, филиал ФГБУ
«ЦНИИП Минстроя России»
УралНИИпроект,
Екатеринбург, Российская
Федерация

e-mail: uro-raasn@mail.ru

Исследователи градостроительных систем сталкиваются с необходимостью определить степень компактности плана градостроительной структуры. Для этого необходимо ввести сравнимые показатели, пригодные для определения компактности любых планировочных структур. И, наконец, необходимо ввести собственно показатели, единицы измерения компактности формы плана. Эта задача не столь проста, как кажется. Определяя «степень концентрации» жилья на территории, Дж. Джекобс использовала в качестве оценочных характеристики «достаточная», «высокая», а также «численность жилых единиц» на акр территории, не вводя никаких количественных порогов. Ясно, что такими показателями оценить компактность нельзя.

Вопросам оценки компактности плана города посвящены работы О. К. Кудрявцева [3] и А. М. Базилевича [1]. Особую оценку компактности дает землеустройство, понимая ее как условие экономии труда [5]. Компактность систем расселения через форму их планировочной организации рассматривал В. Кристаллер.

¹ Работа выполнена по плану ФНИ РААСН и Минстроя России на 2021 год в соответствии с Государственной программой Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» и Программой фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2030 годы).

В топологии компактность оценивается через наличие у фигур форм плана общих топологических инвариантов. Эта оценка позволяет только отнести формы к одному топологическому классу. Но внутри класса компактность отдельных форм может различаться. Одним из математических вариантов оценки компактности фигур через характеристику их формы является т. н. «лемма Т. Пала» [2].

Количество вариантов оценки компактности говорит о неустоявшихся методиках, с одной стороны, и о большом разнообразии методических подходов к этой задаче, с другой. Свойство компактности нуждается в количественной оценке текущего состояния градостроительной структуры и определении возможных путей ее развития. Главный вопрос — можно ли повысить ее компактность и насколько, существует ли предел повышения компактности. Методы оценки компактности рассмотрим в этой статье.

Методика приведения к «условной форме» — методика О. К. Кудрявцева

О. К. Кудрявцев рассматривает компактность города через конфигурацию его плана. Мы назвали его методику «приведение к условной форме». В его книге подраздел так и называется — «Конфигурация». Он пишет о множественности конфигураций планов городов, определяемых на основе рисунка

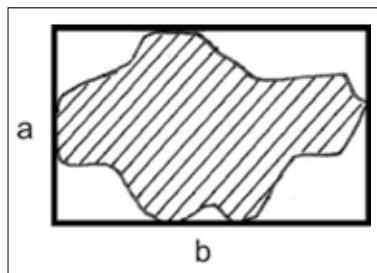


Иллюстрация 1. Методика О. К. Кудрявцева [3]

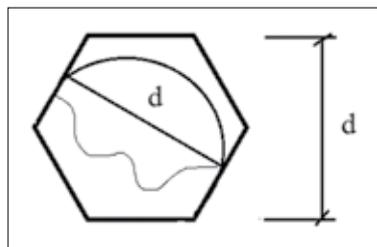


Иллюстрация 2. Лемма Т. Пала о правильном шестиугольнике [2]

городской черты (сегодня этот термин заменен на «границу города»). В этом смысле он рассматривает «типологию конфигураций» [3, 34]. Конфигурация плана — описанная вокруг его реальной формы простая геометрическая фигура: круг, квадрат, прямоугольники с различным соотношением сторон, равносторонний треугольник, параллелограмм, трапеции, различные комбинации усеченных треугольников, прямоугольники с продольными или поперечными сдвигами [3, 33].

Отмечая, что «конфигурация всегда очень сложна: с отдельными выемками, выбросами», О. К. Кудрявцев определяет компактность плана города по показателю того, «в какую проектную геометрическую форму тот или другой город наиболее плотно вписывается», что только в этом смысле можно говорить о конфигурации плана города: квадратной либо другой (Иллюстрация 1). Как видно, набор «простых геометрических фигур», в которые предлагается вписывать формы планов (или описывать их вокруг планов), весьма велик. Среди этих фигур отсутствует правильный шестиугольник — фигура, наиболее плотно покрывающая поверхность с равным удалением ее точек от центра и, как установил В. Кристаллер, являющаяся формой пространственной организации развитых систем расселения [6]. Она обладает еще одним важным свойством, называемым леммой Т. Пала, венгерского математика, выведенного ее в 1920 г. Лемма сформулирована следующим образом: «Всякая плоская фигура диаметра d может

быть заключена в правильный шестиугольник, у которого расстояние между параллельными сторонами равно d » [2, 9] (Иллюстрация 2).

Использование правильного шестиугольника и леммы Т. Пала в методике О. К. Кудрявцева поможет избежать различных комбинаторных форм, она наиболее близка к кругу. Компактность планов городов О. К. Кудрявцев соотносит с пропорциями описанных вокруг их реальных форм прямоугольников и вводит следующее деление компактных форм: наиболее компактные — круглые (Москва, Минск); менее компактные — квадратные (Ижевск, Барнаул); переходное значение к некомпактным, растянутым формам — 1 : 2 (Свердловск, Челябинск); наиболее некомпактные — 1 : 5 (Волгоград), 1 : 4 (Тбилиси), 1 : 3 (Ярославль). Книга О. К. Кудрявцева вышла в 1985 г., в ней рассмотрены система расселения и крупные города СССР [3].

Методика определения компактности планов городов, предложенная О. К. Кудрявцевым, крайне приближительна. Это определено чрезвычайно большим разнообразием реальных форм, которые могут быть вписаны в простые геометрические формы прямоугольников. Так, в квадрат могут быть вписаны формы планов города Екатеринбург (1723 г.), которая заполнит весь квадрат, и четырехлучевая форма звезды. Эти города имеют абсолютно разные формы планов, построение их планировочной системы различно, более того, они находятся в различных фазах развития, но, по методике О. К. Кудрявцева, окажутся в одном классе компактных городов. К тому же в этой методике не обоснованы пороги перехода между классами компактности, они определены только личным мнением автора, а потому не могут служить классификационным признаком.

Методика О. К. Кудрявцева не позволяет проводить сравнение характеристик компактности различных городов. Причина в том, что в ней отсутствуют сами показатели компактности, замененные на формы описанных прямоугольников. Но, в свою очередь, по каким показателям оценивать два прямоугольника? Оценка может быть только сравнительной и характеризовать город как «более» или «менее» компактный. При использовании методики О. К. Кудрявцева возможно только отнесение формы плана города к одной из установленных им категорий компактности. И уж совсем исключены прогнозы дальнейшего развития компактности города, так как для этого

просто нет данных; остается неясным, можно ли изменить эту форму плана на желаемую другую, «более компактную».

О. К. Кудрявцев отмечает разницу форм планов городов при их одностороннем или двухстороннем размещении по берегам рек: «При одностороннем расположении конфигурация, как правило, получается более растянутой» [3, 34]. Эта разница объясняется с топологической точки зрения: эти города относятся к различным топологическим классам, их формы планов имеют различные топологические инварианты. Планировка на одном берегу — однокомпонентна, а расположенная на двух берегах — двухкомпонентна. Если эти две части имеют только одну связь — мост, то такая планировочная система еще содержит разбивающую точку. Сравнение планов городов, относящихся к разным топологическим классам, неправомерно. Условия осуществления градостроительных структур могут значительно отличаться в силу неоднородности естественного градостроительного пространства. Это ведет к образованию нескольких топологических классов городов. Очевидно, что градостроительные структуры различных классов будут иметь свои собственные пределы изменения топологических характеристик, в том числе и компактности. Вполне вероятно, что одна и та же количественная характеристика компактности для одного топологического класса будет ее минимальным значением, а для другого — средним или даже максимальным значением. Это понятно из того факта, что в неоднородном естественном градостроительном пространстве далеко не каждая форма градостроительной структуры может быть переведена непрерывным преобразованием в самое компактное состояние. Проще говоря, не каждый план города можно привести к круглой форме. Из этого следует необходимость точного количественного определения компактности градостроительных структур и введения сравнимых показателей, чего методика, предложенная О. К. Кудрявцевым, дать не может.

Методика «компактности землепользования» — методика землеустройства

Землеустройство рассматривает понятие компактности при планировании сельскохозяйственных предприятий в целях создания их оптимальных территориальных форм. «Компактность землепользования —

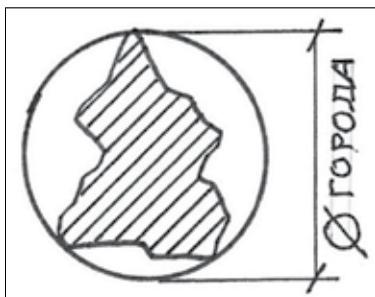


Иллюстрация 3. Методика приведения к кругу А. М. Базилевича. По [1]

организационно-территориальное условие экономии труда», — подчеркивают авторы [5].

Планировочную организацию градостроительных структур вполне возможно рассматривать как систему землепользования, состоящую из многочисленных участков различного функционального назначения и объединенную границей города в единую категорию «земель населенных пунктов» (Земельный кодекс РФ, ст. 7, ч. 1, п. 2). Такой подход позволяет использовать методику землеустройства для определения компактности, но она дает совершенно неожиданный результат.

В землеустройстве используется следующее определение компактности: «Компактным является землепользование, имеющее при данной площади наименьший периметр. Геометрической фигурой, имеющей наименьший периметр, из тех, которые может иметь земельный массив хозяйства, является квадрат. Его можно принять в качестве эталона для оценки компактности. Формула для расчета коэффициента компактности:

$$Kk = \frac{P}{4\sqrt{S}} \quad (1),$$

где P (м) — периметр участка, S (м²) — площадь участка. От этого коэффициента будет зависеть фактическое расстояние перевозок грузов и людей» [5].

Но понимание компактности в градостроительстве иное, нежели в землеустройстве. Действительно, если в приведенной формуле величина (P) будет увеличиваться, т. е. периметр участка будет все более изрезанным при постоянной его площади, то значение Kk будет расти! Если принять условный квадрат ($10 \times 10 = 100$ ед.), то его $Kk = 1$; но если ту же площадь участка представить в виде полосы (100×1 ед.), то $Kk = 5,05$. То есть, предложенная формула не соответствует градостроительному определению компактности: наименьший периметр при дан-

Таблица 1. Соотношение Kk по двум различным методикам

Категории городов по компактности планов	Пороговые значения	
	По А. М. Базилевичу	«Деформация плана»
Компактные или относительно компактные	$1 > Kk > 0,5$	$1 > Kk > 0,54$
Низкокомпактные или расчлененные	0,3	0,31
Некомпактные или резко расчлененные	0,1	Ниже 0,31

ной площади, а прямо противоположная — чем больше периметр, тем выше значение Kk . Следует признать: либо эта формула должна быть в «зеркальном» виде:

$$Kk = \frac{4\sqrt{S}}{P} \quad (2),$$

при которой с ростом периметра участка при постоянной его площади значение Kk будет падать (т. е. самым компактным будет квадратный план участка), либо это не коэффициент компактности, а коэффициент протяженности транспортных связей на участке ($Kп$), чем он выше, тем длиннее транспортные связи. В этом значении он может применяться для оценки протяженности транспортных путей в компактном городе: чем меньше значение $Kп$, тем короче транспортные связи и, следовательно, выше компактность плана. Но оценку компактности формы плана формула (1) не дает и должна быть преобразована в формулу (2). Данная методика позволяет оценить только относительную компактность различных градостроительных структур по принципу «более — менее», но не дает каких-либо количественных характеристик групп городов по степени компактности их планов.

Методика приведения к кругу «диаметра города»: методика А. М. Базилевича — «ожидаемая компактность»

А. М. Базилевич предложил оценить размер городской территории и степень дискретности двумя показателями: «Диаметр города» — расстояние между крайними освоенными точками города; «Коэффициент компактности города» — отношение площади освоенных территорий (S) к площади круга с «диаметром города»

$$(F): Kk = \frac{S}{F} [1] \text{ (Иллюстрация 3).}$$

Такая методика приводит показатели компактности городов к сравнимым показателям. В зависимости

от величины коэффициента компактности А. М. Базилевич выделяет пороговые значения и категории городов: до 0,5 — относительно компактные; до 0,3 — расчлененные; до 0,1 — резко расчлененные. Сравнивая эти пороговые величины с методикой «деформации плана», получим ряд совпадений (Таблица 1).

То же сходство пороговых значений коэффициента компактности для определения категорий городов по степени компактности их планов, полученных по двум различным методикам, построенным на разных принципах оценки, говорит о возможности принять эти значения в качестве базовых.

Методика приведения реальной формы плана к круглой форме равной площади (авторская методика)

А. М. Базилевич определяет компактность формы плана города коэффициентом компактности, вычисляемым как отношение реальной площади этой формы к площади описанного вокруг нее круга. То есть, компактность — это соотношение площадей реальной фигуры и теоретической круглой. Сравнение носит гипотетический характер, оно могло бы иметь реальную основу, если бы город мог достичь круглой формы, с которой он сравнивается. Неизвестно, может ли он стать таким когда-либо. И вопрос не просто в возможности осуществления такого его территориального роста. Далеко не каждая форма может быть преобразована в круглую. Это определяется различными топологическими инвариантами форм, что ведет к существованию различных топологических классов городов, имеющих свои собственные пределы развития [1]. Сказанное позволяет подвергнуть сомнению методику А. М. Базилевича, которая названа нами «ожидаемой компактностью», так как основана на сравнении с «ожидаемой», возможной формой плана.

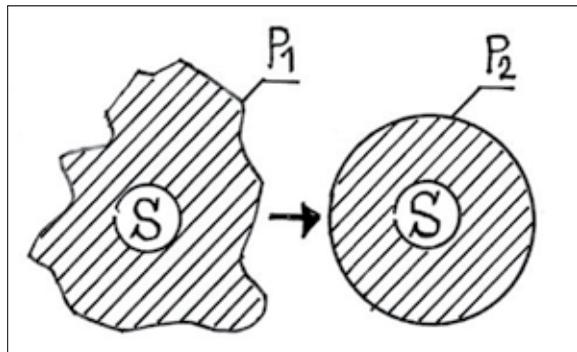


Иллюстрация 4. Авторская методика приведения к круглой форме. Рисунок Г. В. Мазаева

Поэтому мы предлагаем новую методику, в которой реальная форма плана города сравнивается с круглой формой, равной ей по площади. Город в этом случае сравнивается «сам с собой» — если бы он был круглый и имел максимальную компактность. Учитывая равенство площади в обоих случаях, различаться будут периметры этих фигур: реальный периметр всегда будет больше периметра круглой формы. В этом случае коэффициент компактности будет определяться соотношением не площадей, а периметров двух форм — реальной и теоретической (Иллюстрация 4).

Примем, что реальная форма плана города имеет площадь S и периметр P_1 . «Приведенной» к круглой форме плана также будет иметь площадь S и периметр P_2 . Тогда коэффициент компактности реальной формы плана будет

$$Kk = \frac{P_2}{P_1}. \text{ Для круглой формы плана } Kk = 1, \text{ для любой}$$

другой формы плана $Kk < 1$, так как ее периметр увеличивается и будет больше периметра «приведенной» круглой формы. Например, для условной квадратной формы плана со стороной, равной 1, площадь $S = 1$, $P_1 = 4$. Для круглой «приведенной» формы $S = 1$, $P_2 = 3,5$. По принятой формуле коэффициент компактности квадратной формы плана относительно ее «приведенной»

формы составит $Kk = \frac{P_2}{P_1} = \frac{3,5}{4} = 0,88 < 1$. Если выпол-

нить эту операцию для вытянутой прямоугольной формы с соотношением сторон $10 \times 0,1$, то площадь $S = 1$, $P_1 = 20,2$, а коэффициент компактности

$$Kk = \frac{3,5}{20,2} = 0,17. \text{ Пример наглядно показывает разли-$$

цу показателя компактности с ростом величины периметра фигуры формы плана города.

Оценка компактности по деформации формы плана: авторская методика

Наиболее компактные градостроительные системы имеют правильные регулярные формы плана: круглые (максимально компактные), квадратные, прямоугольные с соотношением сторон, близким к «золотому сечению» (1 : 0,62). Такие формы плана имеют «идеальные» города России XVIII–XIX вв., что делает их удобными для оценки компактности формы плана на основе деформации этих правильных форм. Поясним суть этой оценки.

Наиболее широко распространена прямоугольная форма плана, имеющая минимальное количество углов — четыре. Любую другую форму плана можно рассматривать как деформированную прямоугольную, в результате чего количество углов у нее возрастает. Чем сильнее изменена форма, тем большее количество углов она приобретает и тем дальше она от компактности прямоугольной формы.

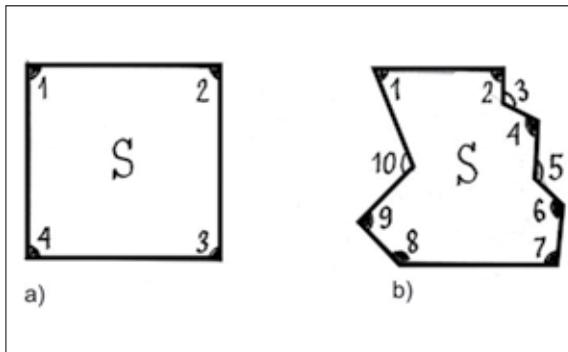


Иллюстрация 5. Авторская методика «деформации плана»: а — «правильный план»; б — «деформированный план». Рисунок Г. В. Мазаева

Таблица 2. Коэффициенты деформации плана и деформационной компактности городов со сложными формами плана

№	Город	Кол-во углов в форме плана	Коэффициенты	
			Кд	Кдк
1	Могилев	15	3,75	0,27
2	Сквира	9	2,25	0,44
3	Ахтырка	12	3,0	0,33
4	Новгород Северский	19	4,75	0,21
5	Минск	7	1,75	0,57
6	Екатеринбург	7	1,75	0,57
7	Елец	13	3,25	0,31
8	Тверь	13	3,75	0,31
9	Вышний Волочок	10	2,5	0,4
10	Борзна	7	1,75	0,57
11	Стародуб	10	2,5	0,40
12	Бердичев	6	1,5	0,67
13	Нежин	16	4,0	0,25
14	Великие Луки	9	2,25	0,44

При этом ее периметр увеличивается, что ведет к снижению компактности. Возможно ввести новый количественный показатель изменения формы плана, характеризующий этот процесс: коэффициент деформации формы плана ($Kд$), выражающийся отношением количества углов сложной деформированной формы плана ($Nдф$) к количеству углов простой компактной формы (N):

$$Kд = \frac{Nдф}{N} = \frac{Nдф}{4}. \tag{1}$$

Чем сильнее деформирована форма плана, тем выше значение коэффициента деформации ($Kд$). Для компактной прямоугольной формы $Kд = 1$, для любой другой его значение будет расти (Иллюстрация 5).

Примем значение компактности для прямоугольной формы плана с коэффициентом деформации ($Kд = 1$) за минимальное, равное 1. Тогда для деформированной формы показатель компактности будет:

$$Kдк = \frac{1}{Kд}. \tag{2}$$

Назовем этот показатель «коэффициент компактности деформированной формы» или «коэффициент деформированной компактности» ($Kдк$). С ростом деформации он будет снижаться. Рассмотрим изменения этих показателей на примере ряда городов России XVIII–XIX вв. (Таблица 2).

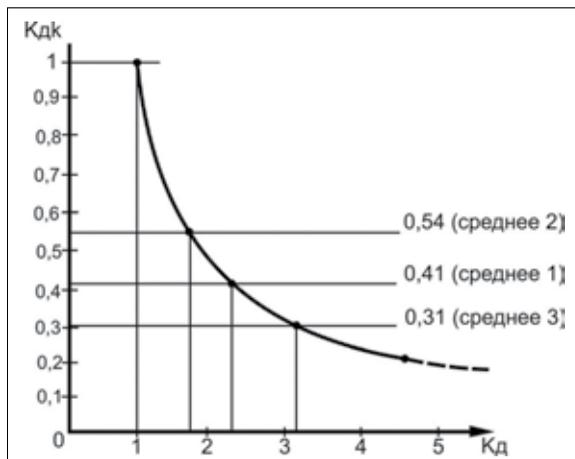


Иллюстрация 6. Соотношение коэффициентов деформации (Кд) и деформационной компактности (Кдк) и зоны компактности планов городов по этим показателям. Рисунок Г. В. Мазаева

Значения коэффициента деформации плана для этих городов имеют разброс от 1,5 до 4,75. Среднее значение — 2,7. Коэффициенты деформационной компактности: 0,21 □ 0,67, среднее значение $K_d = 0,41$. Соотношение этих показателей показано на графике (Иллюстрация 6).

По среднему значению показателей деформационной компактности выделены зоны выше и ниже него, затем операция повторена в каждой зоне. В результате выделено четыре группы форм планов, различающихся по степени компактности:

1-я группа — компактные формы плана:

$1 > K_{dk} > 0,54$; $1,78 > K_d > 1$;

2-я группа — формы пониженной компактности:

$0,54 > K_{dk} > 0,41$; $1,78 > K_d > 2,4$;

3-я группа — низкокомпактные формы плана:

$0,41 > K_{dk} > 0,31$; $2,4 > K_d > 3,2$;

4-я группа — некомпактные формы плана:

$0,31 > K_{dk}$; $K_d > 3,2$.

Таким образом, различные группы планов городов получают количественные характеристики компактности и «пороги перехода» между группами.

Заключение

Приведенные методики показывают, что существуют различные подходы к определению показателя компактности. Все они неустоявшиеся, авторские, единой общепризнанной методики нет. Это говорит о различных взглядах на само понятие компактности. Общее в них — определение компактности на основе характеристики форм плана градостроительного образования, которая сравнивается с различными «эталонными» формами. Такими могут быть простые геометрические фигуры, как в методике О. К. Кудрявцева, компактные круглые формы, вероятно возможные — по методике А. М. Базилевича или сравнимые по площади с реальной формой — по авторской методике. Возможен и другой эталон — квадрат и его сравнение с «деформированным» планом. Очевидно одно: выражение компактности возможно в виде «коэффициента компактности» — безразмерной величины, показывающей соотношение реальной формы фигуры плана градостроительного объекта с некой «эталонной» формой.

Различные методики могут применяться к различным объектам исследования, если они будут адекватны им. Так, методика О. К. Кудрявцева успешно может применяться для исследования российских «идеальных» городов с прямоугольной формой плана, буквально отвечающей «эталонной» форме. Важно только, чтобы

в исследовании применялся только один метод, иначе будут получены несопоставимые данные.

Список использованной литературы

- 1 Базилевич А. М. Влияние функциональных и природных условий на планировочную структуру города: дис. ... канд. арх.: 18.00.04 / Центр. науч.-исслед. и проект. ин-т по градостроительству. Гос. ком. по гражд. строит. и арх. при Госстрое СССР. — М.: [б. и.], 1978. — 185 с.
- 2 Болтынский В. Г., Гохберг И. Ц. Разбивание фигур на меньшие части. — М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1971. — 88 с.
- 3 Кудрявцев О. К. Расселение и планировочная структура крупных городов-агломераций. — М.: Стройиздат, 1985. — 136 с.
- 4 Мазаев Г. В. Прогнозирование вероятностного развития градостроительных систем: учеб. пособие / УралГАХА. — Екатеринбург: Архитектон, 2005. — 112 с.
- 5 Понятие образования землепользования (зем. участка), упорядочение его, межевание земельного участка. Организация землепользования. Устойчивость землепользования. — URL: <https://studfile.net>preview/4457019/page.9/> (дата обращения: 17.01.2021).
- 6 Christaller W. Die zentralen Orte in Süddeutschland. Eine ökonomisch-geographische Untersuchung über die Gesetzmäßigkeit der Verbreitung und Entwicklung der Siedlungen mit städtischer Funktion. — Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1968. — 311 s.

References

- 1 Bazilevich A. M. Vliyaniye funktsional'nyh i prirodnyh usloviy na planirovochnuyu strukturu goroda: dis. ... kand. arh.: 18.00.04 / Centr. nauch.-issled. i projekt. in-t po gradostroitel'stvu. Gos. kom. po grazhd. stroit. i arh. pri Gosstroie SSSR. — M.: [b. i.], 1978. — 185 s.
- 2 Boltyanskij V. G., Gohberg I. C. Razbivanie figur na men'shie chasti. — M.: Nauka, Gl. red. fiz.-mat. lit., 1971. — 88 s.
- 3 Kudryavcev O. K. Rasselenie i planirovochnaya struktura krupnyh gorodov-aglomeracij. — M.: Strojizdat, 1985. — 136 s.
- 4 Mazaev G. V. Prognozirovaniye veroyatnostnogo razvitiya gradostroitel'nyh sistem: ucheb. posobie / UralGAHA. — Ekaterinburg: Arhitekton, 2005. — 112 s.
- 5 Ponyatie obrazovaniya zemlepol'zovaniya (zem. uchastka), uporyadocheniye ego, mezhevaniye zemel'nogo uchastka. Organizaciya zemlepol'zovaniya. Ustojchivost' zemlepol'zovaniya. — URL: <https://studfile.net>previ w/4457019/page.9/> (data obrashcheniya: 17.01.2021).
- 6 Christaller W. Die zentralen Orte in Süddeutschland. Eine ökonomisch-geographische Untersuchung über die Gesetzmäßigkeit der Verbreitung und Entwicklung der Siedlungen mit städtischer Funktion. — Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1968. — 311 s.

Статья поступила в редакцию 19.01.2022.

Опубликована 30.03.2022.

Gregory Mazaev

Candidate of Architecture, Full Professor, Academician of RAACS, Chief researcher, Branch FSBI «TsNIIP Minstroy Russia» UralNIIproekt, Yekaterinburg, Russian Federation e-mail: uro-raasn@mail.ru

ORCID: 0000-0003-3353-7552